

PEMBANGKIT SINYAL SPWM UNTUK MULTILEVEL INVERTER SATU FASA LIMA TINGKAT BERBASIS MIKROKONTROLER AT-Mega32

Baqrafi Aswida Yomahudaya, Tole Sutikno

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan
Kampus III, Jln. Prof. Dr. Soepomo, S.H. Umbulharjo, Yogyakarta 55161
e-mail: baqrafi@gmail.com, tole@ee.uad.ac.id

Abstract

Multilevel inverter presents to fix the existing inverter as the voltage converter from DC into AC. Improvements made to produce high quality output with low switching frequency. There are three types of multilevel inverters, namely: diode-clamped, flying capacitor, and a full bridge type. The multilevel full bridge inverter type has more advantages than other types. Because of its simple construction and controll. The most used modulation technique for multilevel inverter is the Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) technique, because it has the advantage of generating a low harmonic distortion. The SPWM technique for switching divided into bipolar, unipolar, and multi-carrier. The multi-carrier SPWM switching method can reduce the switching frequency. Determination of control signal modulation technique for switching is very important and it affects to the reliability of the multilevel inverter circuit. In this study. The SPWM signal generator for the multilevel inverter using the multi-carrier method has been designed. This method was conducted by comparing two sine waves as the reference signal and two triangular waves as the carrier signal. The reference and the carrier signal were generated by ATmega32 microcontroller. The output of the reference signal and the 8-bit carrier signal from the microcontroller converted into an analog signal using the resistor network R-2R ladder. The modulation of the reference and the carrier signal was completed by using the Op-Amp LM311. The modulation generates several PWM signal as the control signal for a major component of multilevel inverter single phase with a five level approach. The results obtained has successfully help to design a SPWM signal generator for the single phase five level multilevel inverter that was based on the ATmega32 microcontroller. Microcontroller programming has managed in generating the sine and triangle signal, as well as obtaining the PWM signal through the comparator circuit.

Keywords: *multilevel inverter; SPWM multi-carrier; ATmega32 microcontroller*

Abstrak

Multilevel inverter hadir untuk memperbaiki inverter yang sudah ada sebagai pengubah tegangan DC menjadi AC. Perbaikan dilakukan untuk menghasilkan output yang memiliki kualitas tinggi dengan frekuensi switching yang rendah. Terdapat tiga tipe multilevel inverter yaitu: diode-clamped, flying capacitor, dan tipe jembatan penuh. Multilevel inverter tipe jembatan penuh memiliki keunggulan dibandingkan tipe lain karena konstruksi dan pengaturan/kendalinya yang sederhana. Teknik modulasi yang banyak digunakan untuk multilevel inverter adalah menggunakan teknik Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) karena kelebihanannya dalam yaitu menghasilkan gangguan harmonisa yang rendah. Teknik SPWM untuk switching terbagi menjadi bipolar, unipolar, dan multi-carrier. Metode switching SPWM multi-carrier dapat menurunkan frekuensi switching. Penentuan teknik modulasi sinyal kendali untuk switching sangat penting dan berpengaruh pada keandalan rangkaian multilevel inverter. Pada penelitian ini telah dirancang pembangkit sinyal SPWM untuk multilevel inverter menggunakan metode multi-carrier. Metode ini dilakukan dengan membandingkan dua gelombang sinus sebagai sinyal referensi (referensi) dan dua gelombang segitiga sebagai sinyal carrier (pembawa). Sinyal referensi dan sinyal pembawa tersebut dibangkitkan dengan mikrokontroler ATmega32. Keluaran sinyal referensi dan sinyal pembawa 8-bit dari mikrokontroler diubah menjadi sinyal analog dengan jaringan ladder resistor R-2R. Modulasi sinyal referensi dan sinyal pembawa dilakukan dengan menggunakan Op-Amp LM311. Hasil modulasi menghasilkan sinyal PWM sebagai sinyal

kendali komponen utama *multilevel inverter* satu fasa dengan pendekatan lima tingkat. Hasil yang didapat telah berhasil merancang pembangkit sinyal SPWM untuk *multilevel inverter* satu fasa lima tingkat berbasis mikrokontroler ATmega32. Pemrograman mikrokontroler telah berhasil membangkitkan sinyal sinus dan segitiga, serta memperoleh sinyal PWM melalui rangkaian perbandingan (komparator).

Kata kunci: *multilevel inverter*; *SPWM multi-carrier*; mikrokontroler ATmega32

1. Pendahuluan

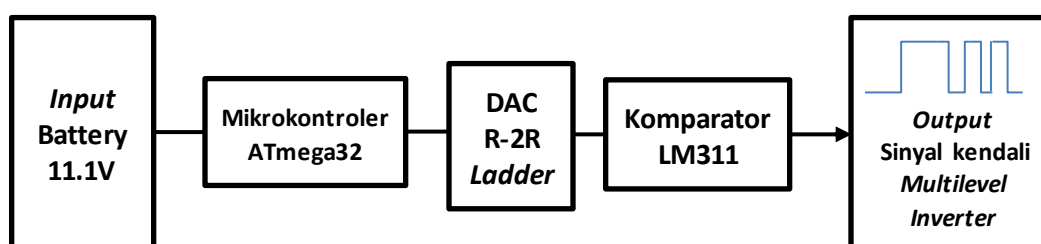
Sekarang ini banyak penelitian mengenai teknologi *inverter* dengan memperhatikan *output* yang dihasilkan agar memiliki kualitas yang lebih baik. Salah satu penelitian yang sedang banyak dilakukan yaitu mengenai *multilevel inverter*. *Multilevel inverter* banyak dikembangkan karena kemampuannya untuk membangkitkan sinyal *output* kualitas tinggi dengan frekuensi *switching* yang rendah.

Terdapat tiga topologi *multilevel inverter* yaitu: *diode-clamped*, *flying capacitor*, dan tipe jembatan penuh [1]. *Multilevel inverter* tipe jembatan penuh memiliki keunggulan lebih dibandingkan yang lain karena konstruksi dan pengaturan/kendalinya yang sederhana. Teknik modulasi dan strategi pengendalian untuk rangkaian *multilevel inverter* dikategorikan menjadi beberapa jenis, diantaranya: *multilevel sinusoidal pulse width modulation* (SPWM), *multilevel selective harmonic elimination*, dan *space-vector modulation* (SVM) [2]. Teknik modulasi SPWM memiliki keunggulan yaitu rendahnya distorsi harmonik pada tegangan keluaran yang dihasilkan.

Teknik modulasi SPWM adalah teknik modulasi dengan membandingkan antara gelombang sinusoida sebagai sinyal referensi dan gelombang segitiga sebagai sinyal pembawa (*carrier*) untuk memperoleh sinyal PWM yang digunakan pada proses *switching*. Teknik SPWM untuk *switching* terbagi menjadi: SPWM bipolar *switching*, SPWM unipolar *switching*, dan SPWM *multi-carrier switching* [3]. Dalam penelitian yang telah banyak dilakukan, metode SPWM *multi-carrier switching* dapat menurunkan frekuensi *switching* sehingga dapat menurunkan rugi-rugi dalam proses *switching*. Pada penelitian ini akan merancang rangkaian *hardware* pembangkit sinyal SPWM dengan teknik *multi-carrier* untuk *multilevel inverter* satu fasa lima tingkat.

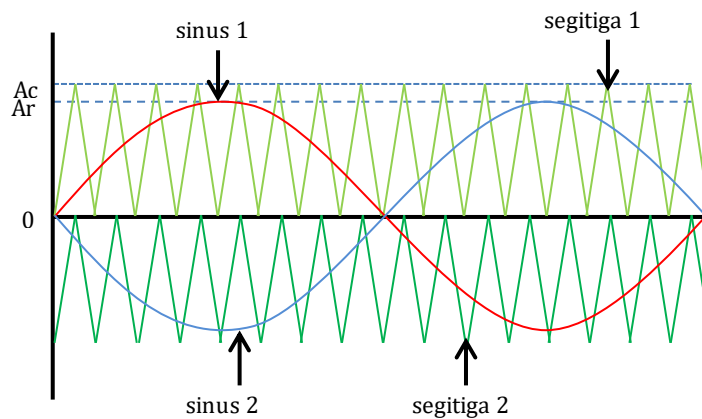
2. Metode Penelitian

2.1. Blok Diagram Perancangan Sistem



Gambar 1. Blok diagram perancangan sistem

Gambar 1 menunjukkan sistem ini menggunakan suplai battery 11.1 V sebagai sumber tegangan untuk rangkaian minimum sistem ATmega32. Minimum sistem ATmega32 difungsikan sebagai pembangkit sinyal referensi dan sinyal pembawa. Sinyal yang dibangkitkan terdiri dari dua sinyal sinus dan dua sinyal segitiga. Keluaran sinyal referensi dan sinyal pembawa 8-bit dari mikrokontroler diubah menjadi sinyal analog dengan jaringan *ladder* resistor R-2R. Modulasi sinyal referensi dan sinyal pembawa dilakukan dengan menggunakan Op-Amp LM311. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah SPWM *multi-carrier* dengan perbandingan antara gelombang referensi dan sinyal pembawa ditunjukkan pada Gambar 2.



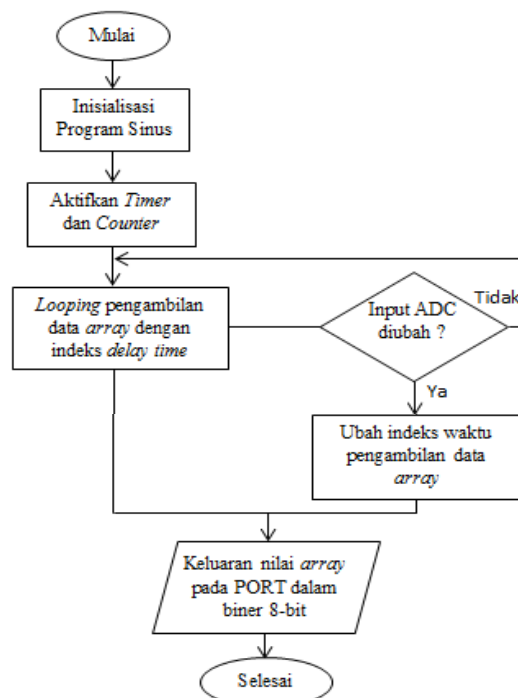
Gambar 2. Metode SPWM *multi-carrier* untuk *multilevel inverter* satu fasa 5 tingkat

Mikrokontroler ATmega32 yang difungsikan sebagai pembangkit sinyal terpasang pada rangkaian minimum sistem yang terdiri dari dua minimum sistem yaitu: minimum sistem 1 sebagai pembangkit gelombang sinus dan minimum sistem 2 sebagai pembangkit gelombang segitiga.

2.2. Pembangkitan Sinyal Analog

2.2.1. Pembangkitan Gelombang Sinus

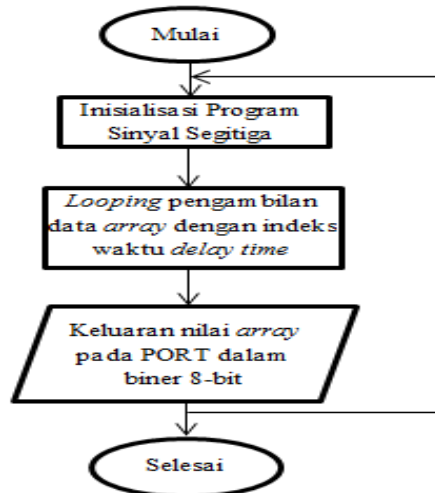
Pembangkitan gelombang sinus dilakukan dengan pemrograman pada chip mikrokontroler ATmega32. Diagram alir pemrograman mikrokontroler ATmega32 sebagai pembangkit sinyal sinus ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir program pembangkit gelombang sinus

2.2.2. Pembangkitan Gelombang Segitiga

Pembangkitan gelombang segitiga dilakukan dengan pemrograman pada *chip* mikrokontroler ATmega32. Diagram alir pemrograman mikrokontroler ATmega32 sebagai pembangkit sinyal segitiga ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir program pembangkitan gelombang segitiga

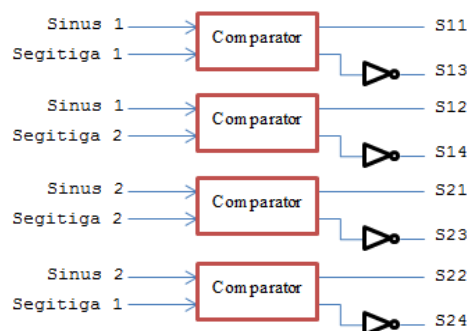
Algoritma dari program pembangkitan gelombang sinus dan segitiga dilakukan melalui:

1. Penentuan nilai batas V_{pp} (Volt peak to peak)
2. Penentuan resolusi yang akan digunakan
3. Penentuan nilai-nilai untuk mengisi data *array* (sesuai dengan resolusi) yang mewakili *level* amplitudo sinyal analog.
4. Perhitungan nilai indeks waktu pemanggilan setiap data *array* (menentukan frekuensi gelombang)
5. Pemanggilan data *array* dengan indeks waktu yang telah diketahui dalam bentuk perulangan.

Setelah pemrograman dilakukan, dan menghasilkan sinyal 8-bit dari PORT mikrokontroler ATmega32 yang digunakan, maka selanjutnya adalah mengkonversi sinyal digital menjadi sinyal analog dengan menggunakan rangkaian *Digital to Analog R-2R ladder*.

2.3. Rangkaian pembanding

Setelah sinyal analog yaitu sinyal referensi dan sinyal pembawa dibangkitkan, maka selanjutnya dilakukan perbandingan antara sinyal-sinyal tersebut sesuai dengan metode yang digunakan. Langkah-langkah pembandingan untuk memperoleh sinyal kendali rangkaian *multilevel inverter* satu fasa lima tingkat dilakukan berdasarkan blok diagram pembandingan sinyal metode SPWM *multi-carrier* yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram blok komparator

3. Hasil dan Pembahasan

Rangkaian pembangkit sinyal kendali untuk rangkaian *multilevel inverter* satu fasa lima tingkat yang dirancang kemudian dilakukan pengamatan unjuk kerja. Pengamatan dilakukan dengan mengamati sinyal referensi berupa gelombang sinusoida dan sinyal pembawa berupa gelombang segitiga sebagai masukan yang akan dibandingkan melalui rangkaian pembanding. Hasil keluaran yang diperoleh berupa sinyal kendali (sinyal PWM) sebagai sinyal kendali (*switching*). Pengujian dan pengamatan sinyal menggunakan alat *Digital Oscilloscope/Picoscope*.

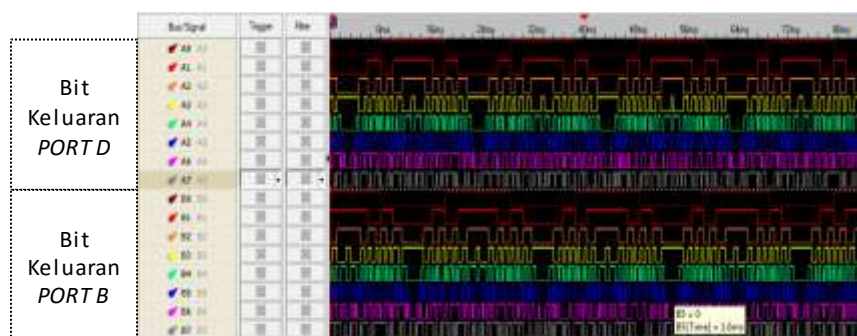
3.1. Pembangkitan Sinyal Analog

Pembangkitan sinyal analog bermula dari pemrograman yang diberikan pada *chip* mikrokontroler ATmega32 untuk dieksekusi. Pembangkitan sinyal analog terdiri dari pembangkitan gelombang sinusoida (sinyal sinus 1 dan sinus 2) sebagai sinyal referensi dan pembangkitan gelombang segitiga (segitiga 1 dan segitiga 2) sebagai sinyal pembawa.

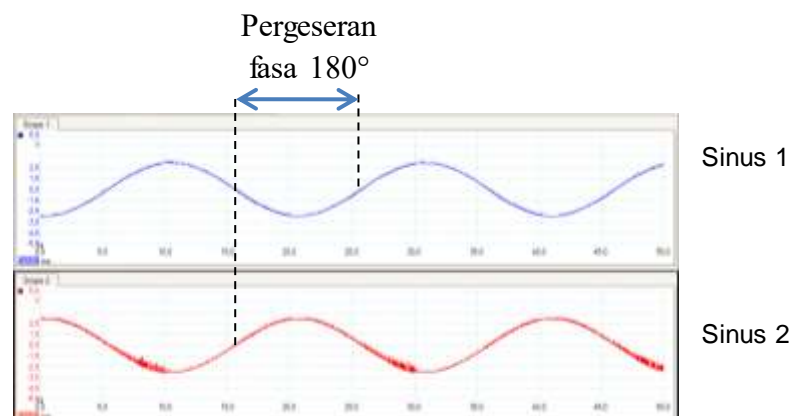
Keluaran mikrokontroler ATmega32 berupa sinyal digital yang bervariasi sebagai representasi nilai pada data array yang dianggil satu-persatu sehingga terjadi perbedaan level tegangan. Sinyal digital keluaran mikrokontroler ATmega32 selanjutnya dikonversi menjadi sinyal analog dengan menggunakan rangkaian DAC R-2R Ladder.

3.1.1. Pembangkitan Sinyal Referensi

Sinyal referensi terdiri dari sinus 1 dan sinus 2. Hasil pengamatan sinyal digital keluaran PORT mikrokontroler ATmega32 yang telah diprogram ditunjukkan pada Gambar 6 dan hasil konversi menggunakan rangkaian DAC R-2R Ladder ditunjukkan pada Gambar 7. PORT yang digunakan pada pembangkitan sinyal referensi (pada minimum sistem 1) adalah PORT D dan PORT B.



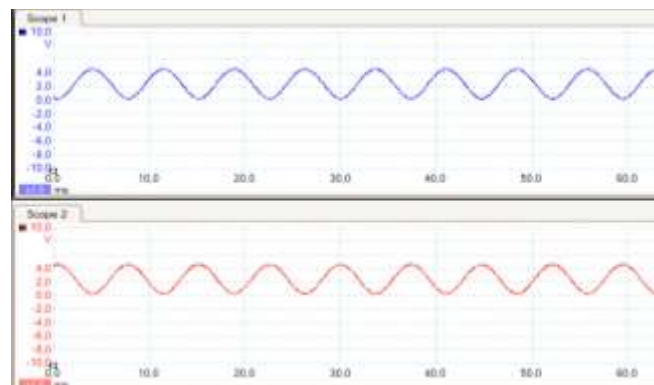
Gambar 6. Sinyal digital sinus 1 dan sinus 2



Gambar 7. Sinyal analog sinus 1 dan sinus 2

Pada penelitian ini gelombang sinusoida dapat diatur dengan menggunakan potensiometer untuk mengatur frekuensi secara manual. Karena gelombang sinusoida digunakan sebagai sinyal

referensi, maka pengaturan frekuensi nantinya berpengaruh pada keluaran (*output*) rangkaian *multilevel inverter*. Gambar gelombang sinusoida dengan frekuensi 150 Hz ditunjukkan pada Gambar 8.



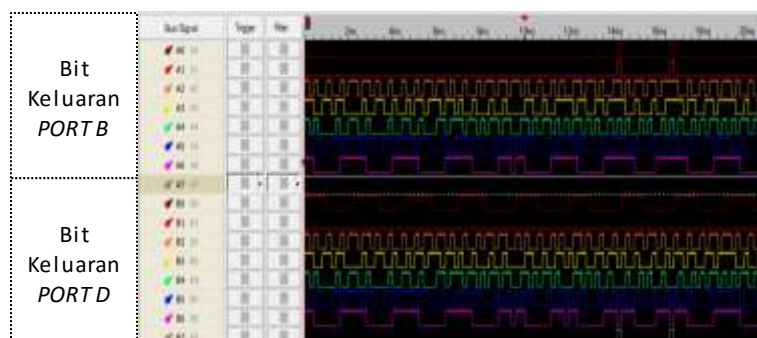
Sinus 1

Sinus 2

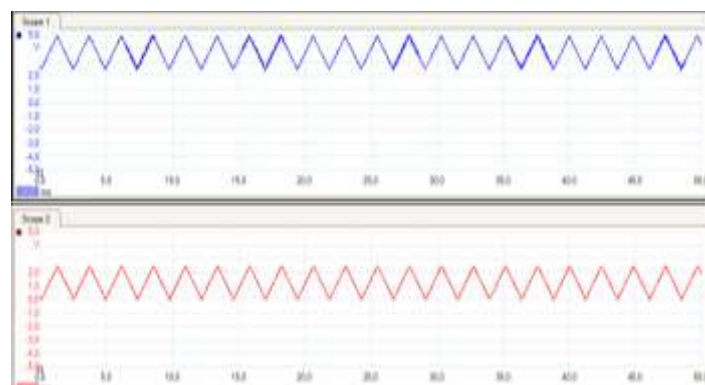
Gambar 8. Gelombang sinus dengan frekuensi 150 Hz

3.1.2. Pembangkitan Sinyal Pembawa

Sinyal Pembawa terdiri dari segitiga 1 dan segitiga 2. Hasil pengamatan sinyal digital keluaran PORT mikrokontroler ATmega32 yang telah diprogram untuk membangkitkan gelombang segitiga ditunjukkan pada Gambar 8 dan hasil konversi menggunakan rangkaian DAC R-2R *Ladder* ditunjukkan pada Gambar 9. PORT yang digunakan pada pembangkitan sinyal referensi (pada minimum sistem 2) adalah PORT B dan PORT D.



Gambar 9. Sinyal digital segitiga 1 dan segitiga 2



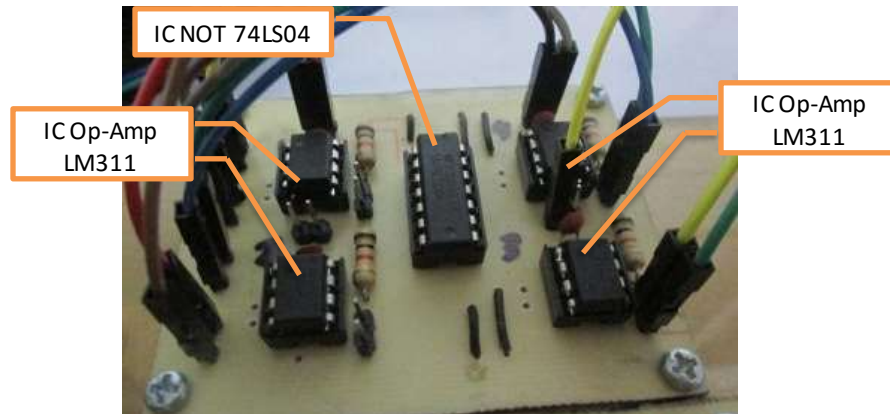
Segitiga 1

Segitiga 2

Gambar 10. Sinyal analog segitiga 1 dan segitiga 2

3.2. Hasil Modulasi Sinyal SPWM *Multi-Carrier*

Setelah sinyal analog diperoleh, maka selanjutnya dilakukan perbandingan dengan rangkaian pembanding yang terdiri dari rangkaian 4 unit Op-amp LM311. Gambar rangkaian *hardware* pembanding ditunjukkan pada Gambar 11.



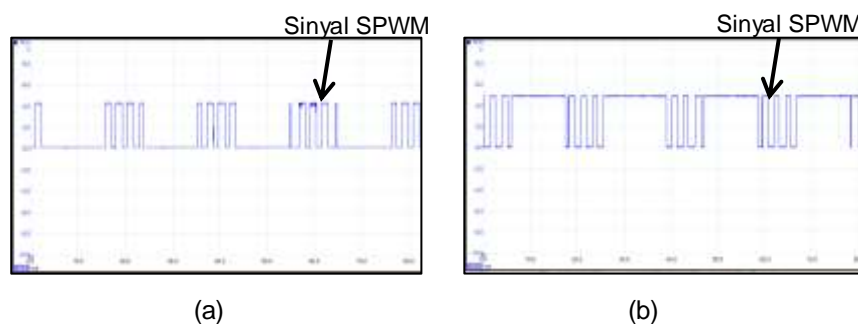
Gambar 11. Rangkaian pembanding dengan Op-Amp LM311 dan IC NOT 74LS04

Sinyal yang dibandingkan telah dihubungkan sesuai dengan blok diagram perbandingan pada metode penelitian. Hasil yang diperoleh berupa sinyal PWM untuk *switching* komponen utama rangkaian *multilevel inverter* (MOSFET, IGBT, transistor atau *thyristor*).

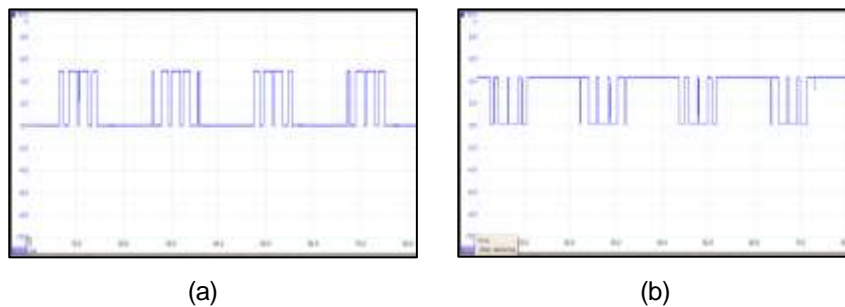
Pengujian dilakukan pada setiap hasil perbandingan pada komparator LM311 yang berjumlah 4 unit. Komparator diberi nomor untuk memudahkan dalam pengamatan.

1. Komparator 1 membandingkan Sinus 1 dan Segitiga 1
2. Komparator 2 membandingkan Sinus 1 dan Segitiga 2
3. Komparator 3 membandingkan Sinus 2 dan Segitiga 2
4. Komparator 4 membandingkan Sinus 2 dan Segitiga 1

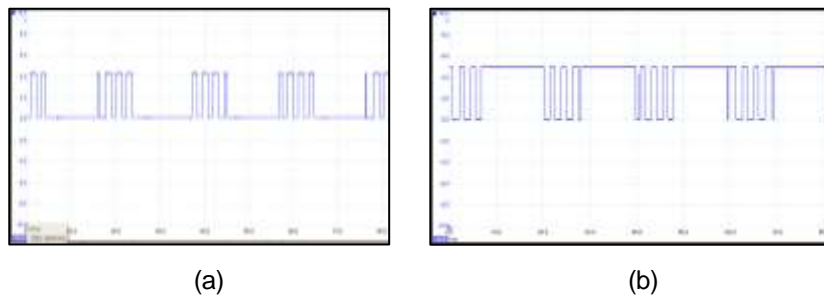
Gambar hasil dari masing-masing perbandingan komparator ditunjukkan pada Gambar 12, Gambar 13, Gambar 14, Gambar 15. Masing-masing sinyal PWM difungsikan sebagai sinyal kendali dengan kode komponen *switching* "S".



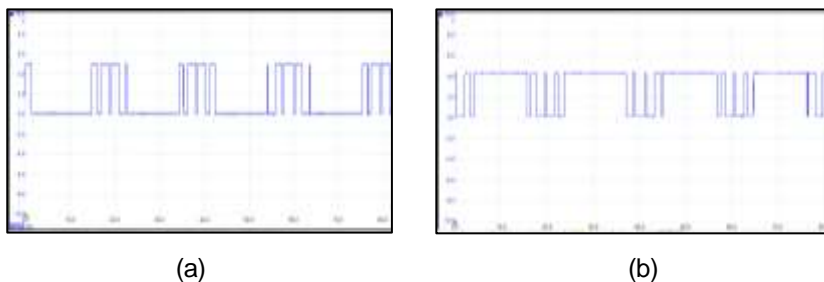
Gambar 12. Hasil sinyal komparator 1 (a) *non-inverting*, (b) dengan IC NOT digunakan untuk *switching* S11 (+) dan S13 (-)



Gambar 13. Sinyal komparator 2 (a) *non-inverting*, (b) dengan IC NOT Digunakan untuk *switching* S12 (-) dan S14 (+)



Gambar 14. Sinyal komparator 3 (a) *non-inverting*, (b) dengan IC NOT digunakan untuk *switching* S21 (+) dan S23 (-)



Gambar 15. Sinyal komparator 4 (a) *non-inverting*, (b) dengan IC NOT digunakan untuk *switching* S22 (-) dan S24 (+)

4. Kesimpulan

Komponen dan unit yang dibutuhkan untuk merancang rangkaian pembangkit sinyal *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM) *multi-carrier* untuk *multilevel inverter* satu fasa lima tingkat yaitu; rangkaian *mini system* ATmega32, rangkaian DAC R-2R *Ladder*, dan rangkaian Pembanding menggunakan Op-Amp LM311. Program mikrokontroler telah berhasil dibangun untuk membangkitkan sinyal sinus dengan frekuensi 50 Hz sebagai sinyal referensi dan sinyal segitiga dengan frekuensi 400 Hz sebagai sinyal pembawa. Telah berhasil dibuat rangkaian pembanding untuk memperoleh sinyal kendali rangkaian *multilevel inverter* satu fasa lima tingkat dengan metode SPWM *multi-carrier* yang membandingkan dua sinyal sinus dan dua sinyal segitiga.

Referensi

- [1] A. Warsito, M. Facta, E.A.T., 2007. *Inverter Multi Level Tipe Jembatan Satu Fasa Tiga Tingkat Dengan Mikrokontroler AT89S51*. , 28(2).
- [2] Rodríguez, J. et al., 2002. *Multilevel Inverters : A Survey of Topologies , Controls , and*

- Applications. , 49(4), pp.724–738.
- [3] Deshmukh, V.M. & Jadhav, M.V.L., 2015. PF and THD Measurement for Power Electronic Converter. , 3(1), pp.11–16.
 - [4] Khasan, A., 2008. Sistem Kendali Inverter SPWM 1 Fase Berbasis Mikrokontroler AT89S51, Yogyakarta
 - [5] Kurniawan, D., 2013. Generator Sinus Menggunakan Mikrokontroler ATmega8. Available at: <http://dwikurniawan06.blogspot.co.id/2013/08/generator-sinus-menggunakan.html>.
 - [6] Rahayu, E. (2014). Pengenalan CodeVision AVR – Immersa Lab. Retrieved December 20,2016, from <http://www.immersa-lab.com/pengenalan-codevision-avr.htm>
 - [7] ATMEL, Datasheet Atmega32
 - [8] TEXAS INSTRUMENTS, 2003. Datasheet LM311. , (September 1973).
 - [9] Vijayalakshmi, G. (2015). *Development of multi carrier PWM technique for five level voltage source inverter. Advanced Engineering and Applied Sciences: An International Journal.*
 - [10] Zope, P.H. et al., 2012. *Design and Implementation of carrier based Sinusoidal PWM Inverter.* , 1(4), pp.230–236.